



TALLINNA ÜLIKOOL

Loodus- ja
terviseteaduste instituut
Ökoloogia keskus



Uuring

Kunda sadama laienduse mõju ümbritsevatele randadele ning töödega kaasneva heljumi leviku ulatus ning põhimõtted

Koostajad: Hannes Tõnisson PhD

Rain Männikus PhD

Tallinnas 2026

Sisukord

Sissejuhatus.....	2
Metoodika.....	3
Tulemused – Rannaprotsessid	5
Tulemused - Merepõhja setted	16
Tulemused - Heljumi levik ja vee liikumine.....	18
Vee liikumisest Kunda lahes.....	18
Heljumi levikust Kunda lahes	20
Põhjasetete võimalik reostus ning proovivõtmise vajadus.....	22
Kokkuvõtteks.....	24
Kirjanduse loetelu	26

Sissejuhatus

Kunda lahes asub Ida-Eesti üks suurimaid sadamaid. Esimest korda rajati sinna sadam juba 1805 aastal, mis toimus seal kuni Teise Maailmasõja alguseni, aastal 1940. Eesti Vabariigi taasiseseisvumisel oli piirkonnas aga uut sadamat väga vaja, mistõttu asuti 1994. aastal seal tegelema uue sadama arendamise plaanidega ning sellega kaasnevate uuringutega. Sadam püüti rajada nii, et sellel puuduks oluline mõju Kunda jõe suudmele (vältida selle ummistumist), see ei kahjustaks sadamast läände jäävat liivast puhkeranda, säiliks ümbruskonna ökosüsteemid ja nende terviklik funktsioneerimine ning et sadamal puuduks oluline mõju piirkonna rannaprotsessidele (Orviku *et al.*, 2020).

Pea samades mõõtmetes (aegapidi küll idasuunas arenev) sadam on selles asukohas paiknenud nüüdseks juba umbes kolmkümmend aastat ning senine sadama käitamine ei ole teadaolevalt oluliselt mõjutanud ei rannaprotsesse ega ka läheduses paiknevad Kunda jõe suuet, ning kaunis Kunda puhkerand on isegi laienenud (Orviku *et al.*, 2020). Vähesele määral näeme setete kuhjumist nii sadamast idas kui läänes – see on loomulik protsess kus peenemad setteid lahepäraste pidevalt juurde kantakse. Selle pideva juurdekande tulemusena suureneb ühtlasi ka sadama akvatooriumi ummistumise oht, eelkõige idast saabuvate setetega.

Sadama edasise arengu tarvis tuleks sadamat laiendada. Loogiline on selle raames ka sadamale rajada idapoolne muul, mis tagaks sadama parema kaitse lainetuse eest aga ühtlasi takistaks ka idast saabuvate setete kuhjumise sadamaakvatooriumisse. Tänapäevaks ongi sadama edasiarenduse tegevuste raames algatatud sadama keskkonnamõju strateegiline hindamine, mille tarvis käesolev töö annab ülevaate piirkonna rannaprotsessidest ja sadama võimalikust mõjust rannaprotsesside ning vastupidi. Ühtlasi antakse esmane hinnang sealsete hoovuste liikumise kohta ning hiinag heljumi liikumisele.

Metoodika

Töö käigus viidi läbi kartograafiline analüüs, kasutades selleks *MapinfoProfessional* tarkvara. Analüüsi käigus kasutati Maa-ameti WMS-teenust ja selle abil joonistati üle rannajooned 1996 aerofotolt ning, 2002, 2008, 2009, 2012, 2013, 2016, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 ja 2024. aasta ortofotodelt. Selguse mõttes kanti kaardile ainult 1996, 2009, 2016 ja 2024. aasta rannajoon. Jälgimaks veealuste liivade liikumise dünaamikat, digitaliseeriti ka samadel aero- ja ortofotodelt nähtav merepoolseim liivade piir. Ortofotode valikul lähtuti sellest, et randla veealune osa oleks võimalikult selgelt näha (vähene lainetus ja puhtam vesi), ning selle põhjal kanti kaardile 1996, 2009 ja 2024. aasta veealuste liivavallide kontuur.

Lisaks kartograafilisele analüüsile viidi läbi ka kohtmõõtmised. Selle käigus mõõdistati 2011. aastal 9 rannajoonega risti olevat profiili (joonis 1), 2025. aastal korrati nendest profiilidest seitset profiili, ning tehti sadamast idasse jääval alal juurde veel 3 täiendavat profiili (profiil 3-5). 2011. aastal mõõdistatud profiilidest kahte (profiilid nr 10 ja 12, joonis 1) ei korratud, kuna need asusid üksteisele liiga lähedal. Kõik profiilid algasid kamardunud rannalt ja lõppesid sügavuses kuhu oli võimalik kuiva ülikonnaga minna (kuni jalad põhja ulatusid, üldjuhul umbes -1.5...-1.6 m). Mõõtmised viidi mõlemal korral läbi Leica RTK-GPS seadmega. Mõõdistatud punktide täpsus jäi valdavalt 1-2 cm vahemikku nii vertikaal kui ka horisontaalskaalal. Kuna keskmine meretase on kõige sarnasem BK77 süsteemiga, siis on kõik mõõtmistulemused antud BK77 süsteemis (vahe EH2000 süsteemiga selles piirkonnas on ca 22 cm – Kui BK77=0, siis EH2000= +21.6cm). Analoogset metoodikat on kasutatud juba kümneid aastaid erinevate sadamate seirete ja keskkonnamõjude hindamiseks (Tõnisson *et al.*, 2014).

Liivaproove ei hakatud sellel korral võtma, kuna leiti varasema uuringu andmed, mille käigus oli võetud väga suurel hulgal liivaproove terajämeduse määramiseks, seega kasutati töös Kaarel Orviku poolt kogutud käsikirjalisi materjale ja nendes määratud põhjasetete mediaanväärtusi.

Heljumi leviku analüüsis lähtuti teoreetilistest alustest ning teadaolevatest hoovuste muustritest ning varasemalt mõõdetud setete terajämedusest. Kirjelduses kasutati ka varasemate analoogsete tööde kogemust ja anti üldine hinnang heljumi leviku võimalikule ulatusele ja muustrile.



Joonis 1. Kordusprofiilide asukohad Kunda uuringualal, planeeritava sadamalaienduse kontuur ning 1996, 2009 ja 2024. aasta ortofotot põhjal joonistatud vealuste liivavallide merepoolne kontuur.

Tulemused – Rannaprotsessid

Kunda laht kuulub Eestis kobedate kvaternaarisetete levikualal lailat leviva kulutus-kuhjelise õgveneva lähelise ranniku piirkonda, see on Põhja-Eesti paekalda esine ala (Orviku 2018). Sellist rannikut iseloomustab tänapäeval lahte piiravate poolsaarte ja neemede randla suhteliselt tagasihoidlik murrutus ja pemiselt liivasetete kuhjumine lahe päras. Erineva terajämedusega kobedate setete murrutamisel kantakse peenes eemale ja järelejäänud jämedamast osast kujuneb üsna kiiresti kivisillutis, mis kaitseb randa edasise intensiivse murrutuse eest (eelkõige poolsaare tipud). Tänu sellele aeglustub neemedest lahe pära suunas liikudes murrutus kiiresti ja rannajoon säilitab suures osas esialgse käärulise ilme. Kunda lahe piires peamiselt merepõhjas paljanudv kambriumi sinisavi on samuti suhteliselt vastupidav lainetuse mõjutusele. Peamiselt lahte piiravate neemede ja madalate murrutusel väljapestud liivasetted liiguvad lainetuse ja hoovuste mõjul piki randa lahe pära suunas, kuhjundes ja kujundades siin liivarandlat. Omajagu aitab liivarnna laienemisele kaasa ka Kunda jõe poolt väljakantav liivane materjal, mis liikudes piki randa nii lääne- kui idasuunas, on aidanud kujundada eelluidetega liivarandlat, tänasest sadamast enamasti just lääne pool. Selline on üldiselt siinsete randade loodusliku arengu skeem.

Enne esimese sadamamuuli rajamist (tänapäevaks juba ligi 200 aastat tagasi), toimus Kunda lahe päras setete liikumine vahel veidi idasuunas, vahel veidi läänesuunas, sõltuvalt valdavatest tuultesuundadest. Peale muuli rajamist jagati süsteem kaheks – lahepära läänepoolne ja idapoolne külg.

Lahepära idapoolne külg on juba pikemal perioodil olnud ära lõigatud Kunda jõest tulevatest setetest. Vaatamata sellele on ka siia toimunud pidev setete kuhjumine, mille viitab rannajoone kuju, kus näeme vahetult muuli varjus rannajoone mõningast meresuunas paendumist. Eriti hästi on see jälgitav merepõhjas levivate liivallide kuju muutuses (joonis 1). Sealt näeme, et veealuste liivavallide kontuurid on aina enam paindunud põhja poole – eriti just sadamakaist vahetult idas, umbes 200 m pikkusel lõigul, mis näitab, et aina enam liivasid on jäänud sadama tuulevarjulisele küljele lõksu. Liivavallide merepoolne piir on nihkunud viimase kolmekümne aastaga kohati veidi üle saja meetri meresuunas (joonis 1). Tänapäevaks oleme olukorras kus madalas meres levivad veealused liivavallid on otsapidi jõudnud juba sadama akvatooriumisse (joonis 1, joonis 3) ja merepõhjas liikuvad liivad hakkavad aina enam ummistama sadama akvatooriumit. Akvatooriumis seguneb rannalähedal liikuv liiv tavaliselt muda ja savikamate setetega ning süvendamisel tuleb

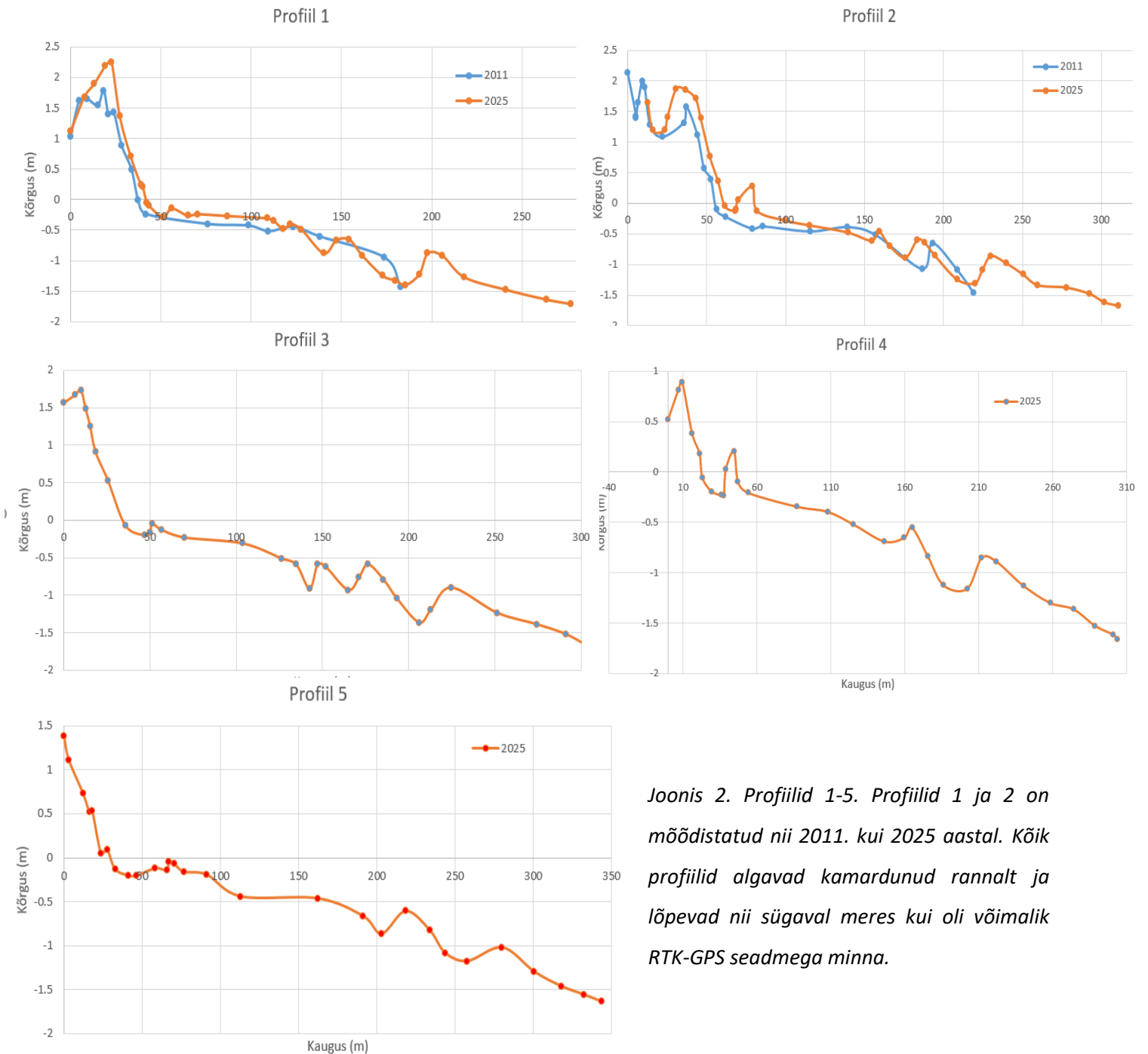
tihti väljakaevatud setted kaadata avamerre või kuhjata kaugemale ajurannale. Niisuguse tegevuse tulemusena liigub osa rannaliivasid süsteemist välja. Selle vältimiseks oleks lausa hädavajalik sadamale idapoolse muuli rajamine, mida täna just plaanitaksegi.

Vaadeldes siin mõõdistatud profiile (joonis 2, profiilid 1-5), näeme, et pea kõikjal paikneb rannajoone lähedasel alal poolveealune rannabarr ning selle ees on enamasti vähemalt 3-4 erineva kõrguse (enamasti 0.5-0.7 m kõrged) ja laiusega (enamasti 20-40m laiad) veealust liivavalli, need vallid on selgelt nähtavad ka uusimal ortofotol (joonis 1). Niisugune olukord viitab kuhjeranna heale seisundile. Vaadetes rannajoone muutuseid, siis jäävad need enamasti 10 meetri piiresse (enamasti kuhje) viimasel umbes 30-nel aastal (joonis 3), vaid väga üksikutel ja lühikestel lõikudel on rannajoon nihkunud kuni umbes 30 m meresuunas, seda eriti just väikeste abajate liivadega täitumise tõttu (näiteks suurim muutus on sadamakaist umbes 2-2.2 km kaugusel idas (joonis 3).

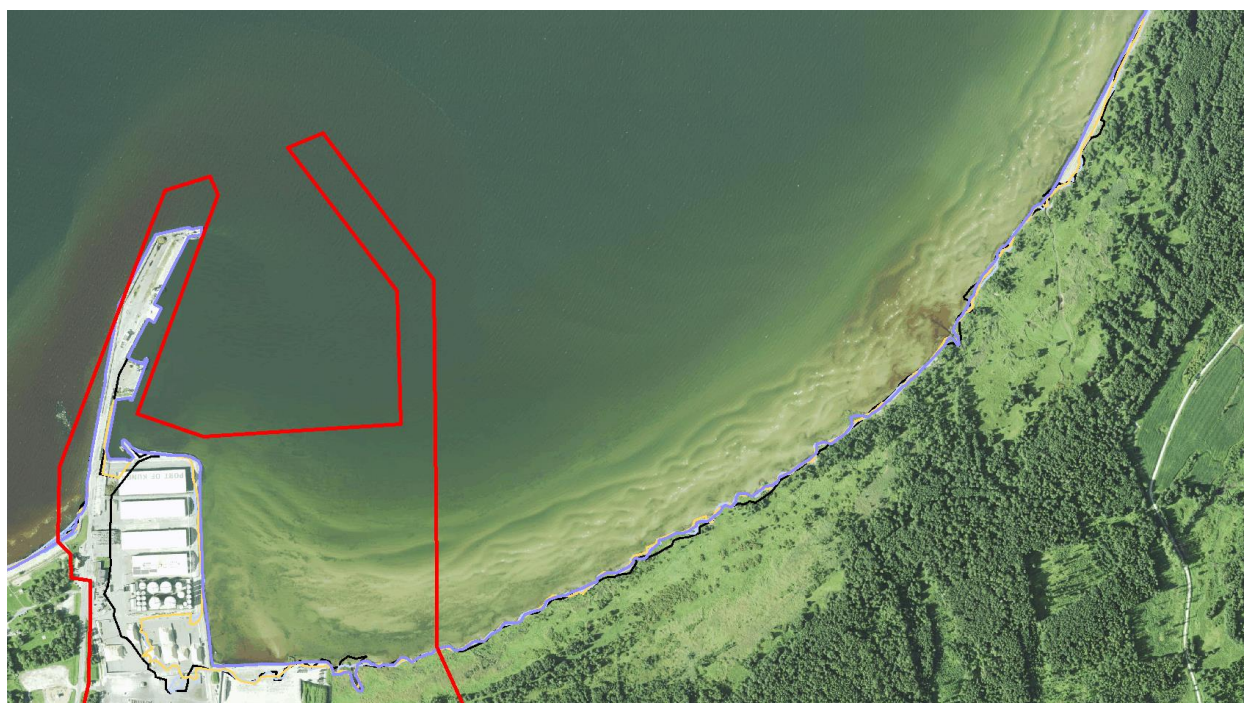
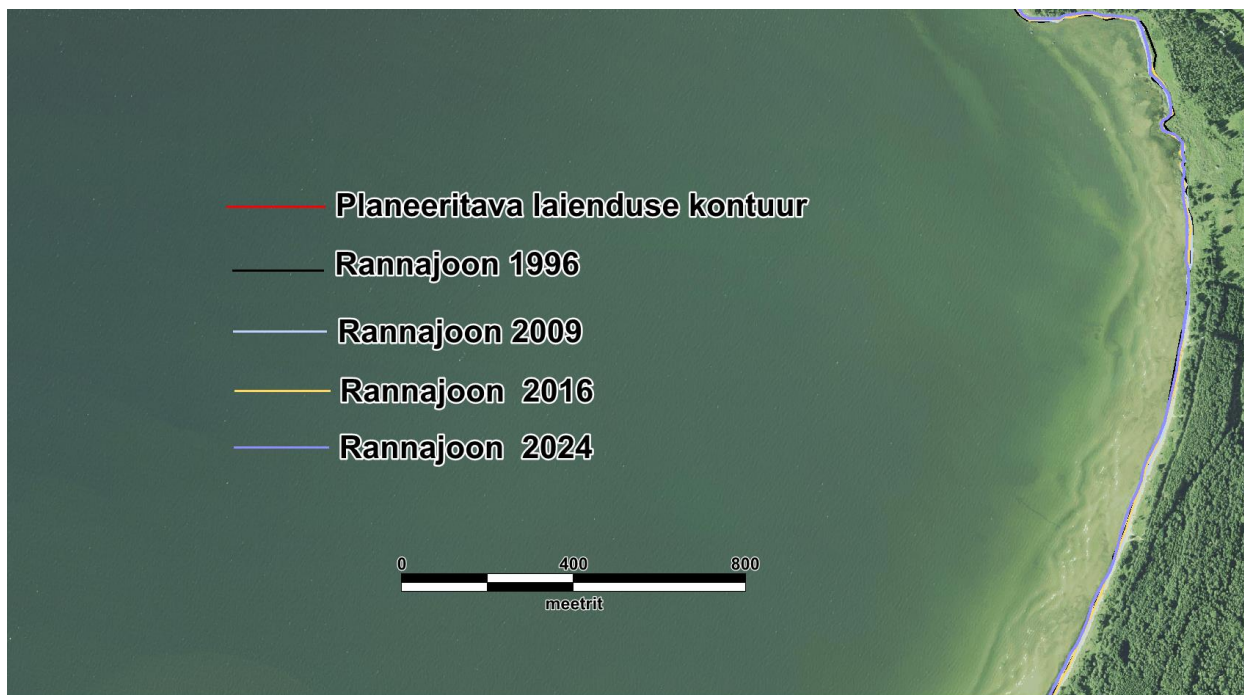
Mõõdistatud profiilid viitavad ka aina väiksemale lainetuse mõjule ja seeläbi ka loiumatele rannaprotsessidele lahepära suunas liikudes. Näiteks on lahepära umbes 3-3.5 km kaugusele kirde suunas liikudes rannal olevate luiteliste vallide kõrgus 2-2.5 meetrit üle merepinna ning nende vallide kõrgus on viimasel 15. aastal kasvanud kohati enam kui 0.5 meetrit (joonis 2, profiilid 1-2). 1.5 meetrine samasügavusjoon paikneb siin (joonis 1, 2, profiilid 1-2) 200-230 m kaugusel rannajoonest. Samas, sadamakaist 1-1,3 km kaugusel paikneval ristprofiilil näeme, et merepõhi on muutunud palju laugemaks (joonised 1-2, profiilid 4 ja 5). Siin on 1.5 samasügavusjoon rannast juba 300-330 meetri kaugusel ning rannas olevate vallide kõrgus ulatub vaid 1-1.5 meetrini üle merepinna, rand on väga lauge ja osaliselt roostunud (joonis 4).

Lähtuvalt eelnevast, võime öelda, et tänaseks juba umbes 30 aastat siin paiknenud sadamakai ei ole põhjustanud sadamast idasse jääval alal erosiooni. Vastupidi – on toimunud setete aeglane kuhjumine ning aeglane lahepära täitumina liivadega. Rannajoone muutused on vähesed, veidi ulatuslikum on veealuste liivavallide kontuuride meresuunaline liikumine, eriti just umbes 100-200 m laiusel alal, vaetult enne sadamuule. Selle kuhje tulemusena on tänaseks intensiivselt liikuvad liivavallid jõdunud otsapidi sadama akvatooriumisse. Võime väita, et uue idapoolse kai rajamine võiks mõjuda hästi nii sadamale (ei kuhju enam setteid akvatooriumisse) aga ka rannaprotsessidele – rannalähedases merepõhjas liikuvad liivad jäävad süsteemi ning hoiavad siinset randlasüsteemi heas looduslikus tasakaalus. See on eriti oluline muutuva kliima

tingimustes, kus võime oodata maailmamere taseme kasvu ning üldist kuhjeliste liivarandade seisunid halvenemist (Tõnisson *et al.*, 2024a).



Joonis 2. Profiilid 1-5. Profiilid 1 ja 2 on mõõdistatud nii 2011. kui 2025 aastal. Kõik profiilid algavad kamardunud rannalt ja lõpevad nii sügaval meres kui oli võimalik RTK-GPS seadmega minna.



Joonis 3. Kunda sadamast idasse jääva ala rannajoone muutused ajavahemikul 1996-2024. Joonisele on kantud ka planeeritava sadamalaienduse kontuur.



Joonis 4. Kunda sadamast itta jääv rannaala. Vaade sadama suunas (ülal), vaade kirde suunas (alumine).

Lahepära läänepoolne külg on samuti iseseiva süsteemina toimunud juba umbes 200 aastat, millest viimasel 30-nel aastal on süsteem olnud mõjutatud uuest, umbes 700 m pikkusest sadamakaist, mis on täielikult välistanud setete liikumise sadamast ida-suunas. Sadamakai pikendamisel ja laiendamisel kardeti, et setete kuhjumine kai varjus hakkab oluliselt kiirenema ning jõesuue võib ummistuda, seades ohtu jõe funktsioneerimise väärtusliku kalajõena. Selle kartuse on tekitanud fakt, et tänastel ortofotodel (joonis 6) võime näha vana ja ummistunud jõeharu veidi üle 120 m kaugusel, tänasest suudemst idapool ja see haru lõpeb umbes 100 m enne tänast rannajoont. Ajaloolisi kaarte uurides näeme, et tegelikult on see haru suletud olnud juba 1959. aasta aerofotol ja ka mitmetel veidi varasematel, ebatäpsematel kaartidel. See jõeharu on viimati aktiivne olnud 1935. aasta topograafilise kaardi andmetel, ehk siis juba enam kui pool sajandit enne uue sadamakai rajamist. 30. aastat hiljem võime kinnitada, et kartustel ei olnud alust. Sellele perioodil ei ole teadaolevalt olnud püsivat Kunda jõesuudme ummistumist liikuvate rannasetete tõttu (küll on jõel esinenud jääpaise).

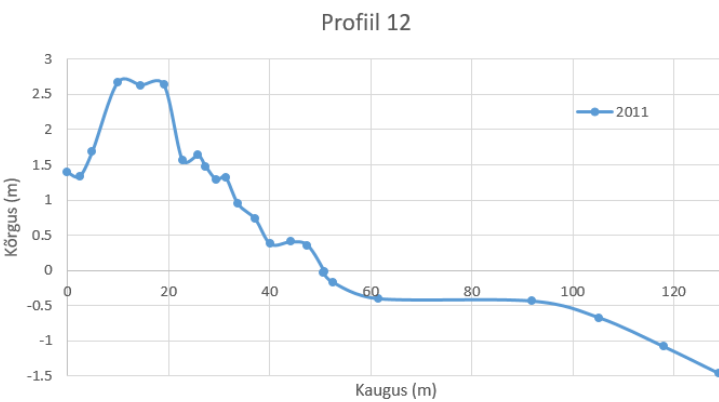
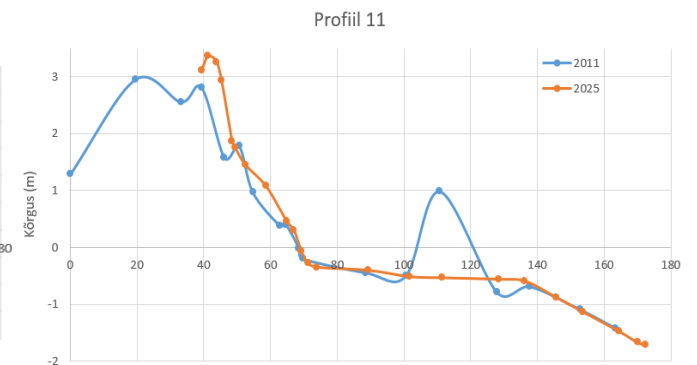
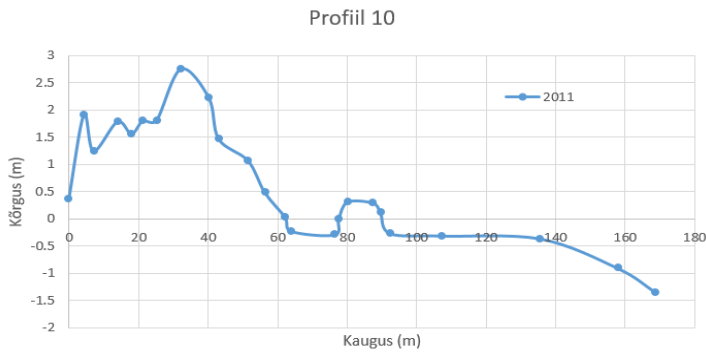
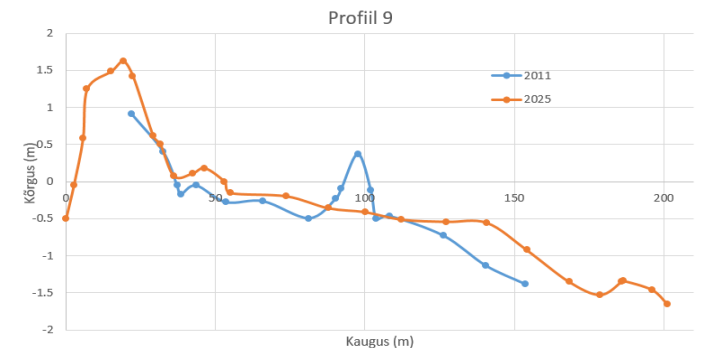
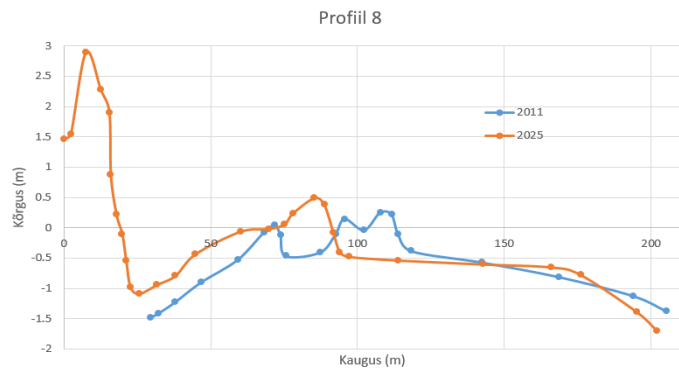
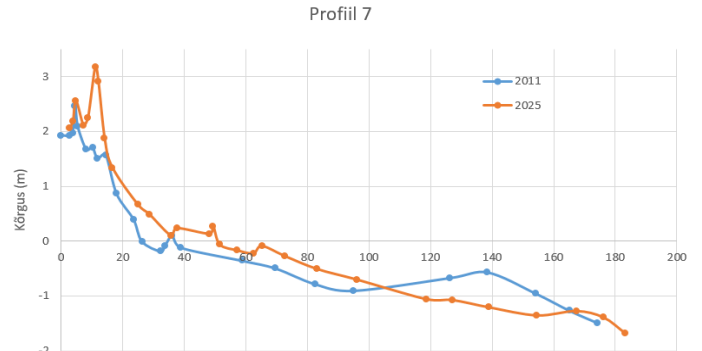
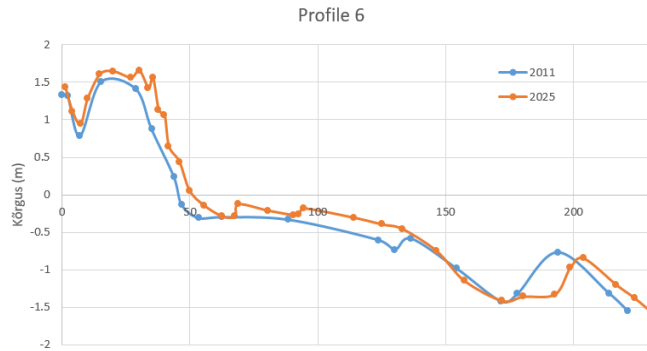
Võrreldes 1996. aastaga on täna Kunda jõe suue nihkunud umbes 40-60 m lääne suunas (joonis 6). Tegemist ei ole siiski sugugi ühesuunalise protsessiga, sest näiteks alles 2016. aastal paiknes jõesuue umbes 30-40 m rohkem idas kui 1996. aastal ja ligi 100 m rohkem idas kui näites 2024. aasta jõesuue. Seega võime öelda, et jõesuudme asukoht võib sõltuvalt valitsevatest tuulesuundadest ja jõe vooluhulgast nõ pendeldada vähemalt 100 m laiusel alal.

Mõõdistatud rist-profiilidest itta jääva osa (joonised 1, 6, 7) rannajoon (veidi üle 1 km pikkune lõik) on tänaseks tugevasti roostunud ning seal aktiivsed rannaprotsessid puuduvad, rannajoon ei ole viimase 30 aasta jooksul sisuliselt üldse muutunud. Profiil nr 6 (joonised 5, 7) on mõõdistatud just selle ala piirilt. Profiili asukohast itta tehtud fotol (joonis 7) näeme, et aktiivne liivarand muutub aina kitsamaks, madalamaks ja läheb peagi üle roostikuga palistatud rannaks. Profiil nr 6 juures näeme, et siin toimub veel aeglane setete kuhje, viimase 30 aastaga on rannajoon nihkunud 2-3 m meresuunas, rannal oleva eelluitevalli kõrgus on kasvanud 15-20 cm (umbes 1.5 meetrini) ja ka merepõhi on umbes 20 cm võrra madaldunud. Merepoolsiem veealune liivast vall on nihkunud umbes 10-15 m meresuunas. See kõik viitab aeglasele kuhjele, ilmselt Kunda jõest saabuvate setete arvelt.

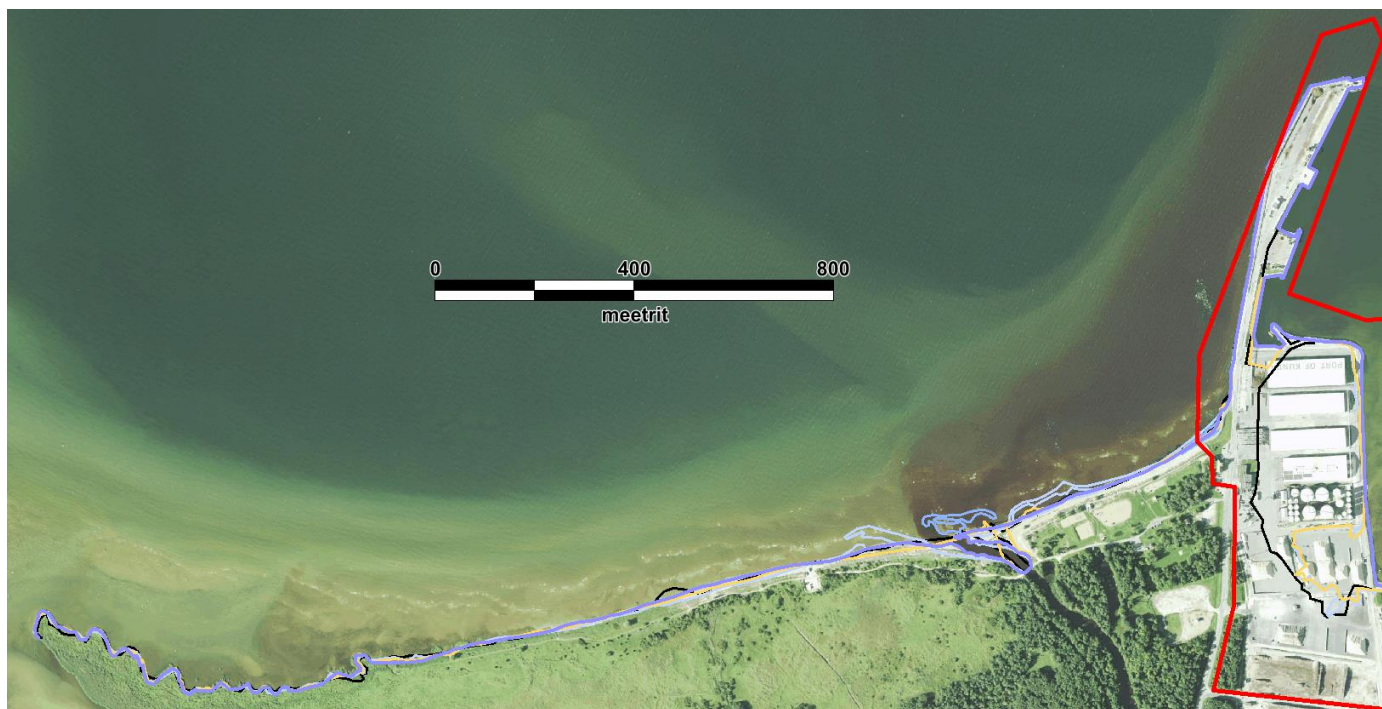
Ristprofiil nr 6 juurest nr 7 juurde liikudes (joonised 1, 5, 6) näeme, et umbes järgneva 400 m jooksul on rannajoone muutused juba oluliselt aktiivsemad. Siin võime enamasti näha rannajoone

nihkumist mere suunas 3-10 meetri võrra. Vaid ühel väikesel maanukil on rannajoon veidi sirgenenud ja rannajoon nihkunud mõne meetri võrra maa suunas. Valdavale kuhjele viitab ka see, et merepoolseima eelluitevalli kõrgus on siin kasvanud umbes 1 m võrra, ulatudes juba veidi üle 3 m. Umbes kaks korda kõrgem eelluitevall rannal viitab juba palju aktiivsematele rannaprotsessidele. Ka ranna kõrgus on siin 20-30 cm kasvanud ning liivarand laienenud umbes 10 meetri võrra. Merepõhi on madaldunud umbes 20 cm võrra alal mis jääb rannajoone ja umbes 1 m samasügavusjoone vahele (umbes 80 m laiune rannanõlva osa). Merepõhjas on küll tasandunud seal varasemalt paiknenud umbes 50 m laiune ja 50-70 cm kõrgune veealune rannavall. Ilmselt on see suuremas osas pasiatud rannale või mõjutatud jõest tulevast veevoolust ja kantud veidi rohkem läände – profiili nr 6 piirkonda. Samas on sellest vallist merepoole merepõhi pisut madaldunud. Eelnevad muutused viitavad pigem stabiilsele kuhjerannale, mis näitab, et sadam ei ole siin negatiivset mõju seni avaldanud ja ka uue sadamakai rajamine ei tohiks siin olulist mõju avaldada.

Järgmisena käsitleme ala, mis jääb profiilide nr 8 ja 9 vahele ning ümrbusse (joonised 1, 5, 6, 8). Tegemist on siis mõnesaja meetri pikkuse lõiguga, kus viimastel kümnenditel jõesuue on pidevalt nn pendeldanud, vahel veidi rohkem itta, vahel veidi enam läände. Vaatamata suudme ulatuslikule muutlikkusele ei ole rannajoones siin olulisi muutusi esinenud ja muutused toimuvad peamiselt väga madalas meres (joonis 8). Rannajoon on samuti pendeldanud enamasti 10-15 meetri ulatuses, vahel on moodustunud rannalähedasse merre ulatuslikum poolveealune rannabarr, vahel on see oslaiselt kadunud aga suuremas plaanis siin negatiivseid ühesuunalisi muutusi ei ole registreeritud. Profiilil nr 8 (joonis 5), näeme, et vahetult tänase jõesuudme taga on eelluitevalli kõrgus juba umbes 3 m, mis viitab selle taguse ajuranna väga tugevale looduslikule kaitsele. Ka merepõhjas pole siin olulisi muutusi toimunud, rannalähedane poolveealune rannabarr on nihkunud umbes 20 m võrra maasuunas, see muutus on ilmselt tingitud praegusest jõesuudme asukohast. Merepoolne rannanõlv (rannajoonest enam kui 150 m kaugusel) on küll pisut sügavnem, ent tegemist on ilmselt ajutise ja lokaalse protsessiga. Profiil nr 8 on jõesuudme pendeldamise nõ idapiiril. Ka siin näeme rannal oleva eelluite valli kõrgenemist, rannanõlval olnud rannabari kadumist aga samas ka olulist merepõhja madaldumist – rannale lähemal on merepõhi madaldunud 10-15 cm võrra, samas kui rannajoonest umbes 100 m kaugusel on merepõhi madaldunud umbes 40-50 cm võrra, mis viitab ka siin ranna stabiilsusele ja pigem aeglasele setete kuhjele.



Joonis 5. Profiilid 6-12. Profiilid 10 ja 12 on mõõdistatud ainult 2011. aastal. Kõik profiilid algavad kamardunud rannalt ja lõpevad nii sügaval meres kui oli võimalik RTK-GPS seadmega minna.



Joonis 6. Kunda sadamast läände jääva ala rannajoone muutused ajavahemikul 1996-2024. Joonisele on kantud ka planeeritava sadamalaienduse kontuur. Legend joonisel nr 3.



Joonis 7. Kunda sadamast läände jääb võrdlemisi laia liivaribaga liivarandla, mille maapoolses osas paiknevad osaliselt juba põõsastega kaetud 2-3 m kõrgused eellited.



Joonis 8. Vaade Kunda jõesuudmele ja selle ees olevatele rannabarridele (ülemine). Vaada Kunda jões suudmest sadamasuunas jäävale puhkerannale (alumine).

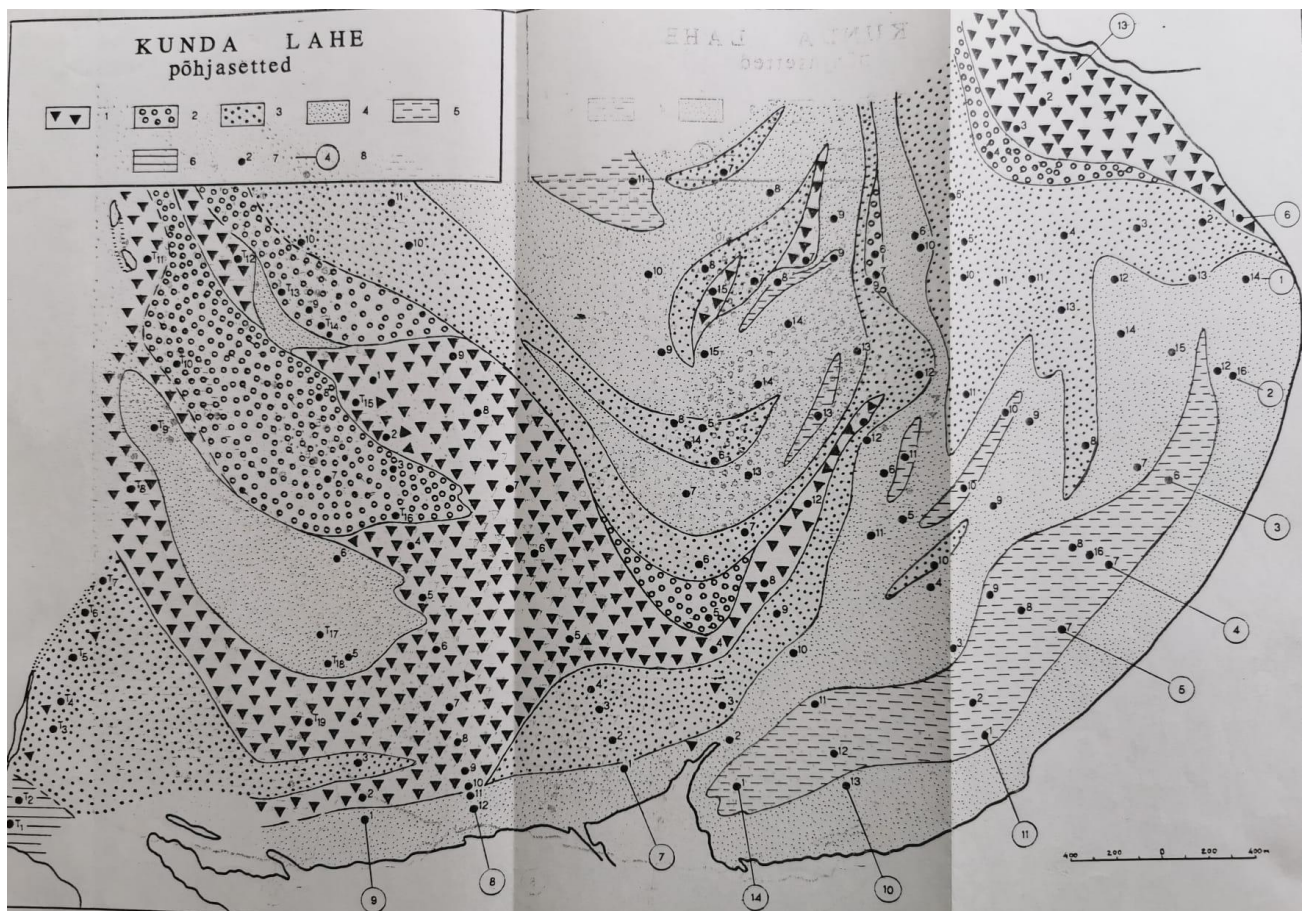
Viimaseks lõiguks on jõesuudme ja sadamakai vaheline ala, kus on mõõdistatud profiilid 10-12 (joonised 1, 5). Siinne rannajoon on püsinud väga stabiilsena-viimase 30 aasta jooksul on siin rannajoone muutus jäänud valdavalt 2-5 m piiresse. Enmasti on tegemist olnud kuhjega, väga vähesel määral on olnud ärakannet vahetult sadamaga piirneval rannal, enasmasti sealse kividest kaitsevalli ees. Profiililt nr 11 näeme, et merepoolseima luitevalli hari on nihkunud 3-4 m merepoole ning selle kõrgus on kasvanud ligi 0.5 meetri võrra – ulatudes täna 3.4 meetrini. Seesugune eelluitevall viitab väga tugevale looduslikule kaitsele tormiajude eest. Merepõhjast on küll kadunud umebis 20 m laiune ja kohati 0.5-1 m kõrgune rannabarr, ent rannanõlv (merepõhi) on kogu ülejäänud alal püsinud äärmiselt stabiilsena ja muutused sisuliselt puuduvad kogu rannanõlva ulatuses. Ka fotolt nähtub (joonis 8), et rand on siin juba pikemalt püsinud stabiilses seisundis, sest rannal on kujunenud väikesed uued eelluited ning kohati kasvavad rannal juba väikesed põõsad ja puud.

Muuli läänepoolsel küljel näeme vähest liivade kuhjumist mõnesaja meetri pikkusel lõigul, need on sinna ajajooksul ilmselt pikirände käigus liikunud. See aga ei ohusta ei sadamat (setete ummistumise näol) ega ole ka oluline ranna stabiilsuse seisukohalt. Võib öelda, et sadamakai pikendamine ning mõningane laeindamine ei mõjuta siinseid rannaprotsesse olulisel määral, vältima peaks ainult kividest nõlvakaitse laiendamist puhkeranna suunas, sest seesugune rajatis põhjustab ranna ja rannanõlva erosiooni ning annab ranna stabiilsusele vastupidise efekti (Tõnisson *et al.*, 2024a), niisugune rajatis võiks lõppeda risti liivarannaga, aga mitte painduda selle ette nagu seda on tänane olukord.

Sadamarajtistest umbes 3 km kaugusesse jääv Liivasäär on aga juba täiesti omaette süsteem ja ei ole näha, et senine ega ka tulevane sadama laiendus võiks seal toimuvaid protsesse kuidagi mõjutada. Siinsed muutused on tingitud globaalse kliima soojenemise mõjust jääkate vähenemisele (avatud tormidele pikemal perioodil), sellest põhjustatud sagedamate tormiajudest ning aegapidi kerkivast maailmamere taseme tõusust (Suursaar *et al.*, 2025).

Tulemused - Merepõhja setted

Kaarel Orviku poolt 1992 ja 1994 aasta uuringute põhjal näeme, et nii sadamast itta kui ka läände jäävates randades ja ka rannanõlval valdab peenliiv (Joonis 9). Terajämeduse mediaanväärtused sadamast itta jäävade profiilide rannapealsetel osadel varieerusid 0.13 ja 0.18 mm vahel (sadama ligidal peenem) ja rannanõlval oli terajämeduse mediaanväärtuse varieeruvus 0.13 ja 0.16 mm vahel. Sadamast läänes oli terajämedus suurem. Kunda jõest läänepoolsele rannal oleva liiva terajämeduse mediaanväärtus 0.15-0.17 mm ning meres 0.17-0.28 mm. Vahetult jõesuudme ümber varieerus terajämeduse mediaanväärtus 0.26 ja 0.5 mm vahel. Jõe ja kai vahelisel alal jäid enamus mediaanväärtusi 0.18 ja 0.35 mm vahele. Veidi peenemad olid setted tänase sadamakai all (kuni 0.16 mm).



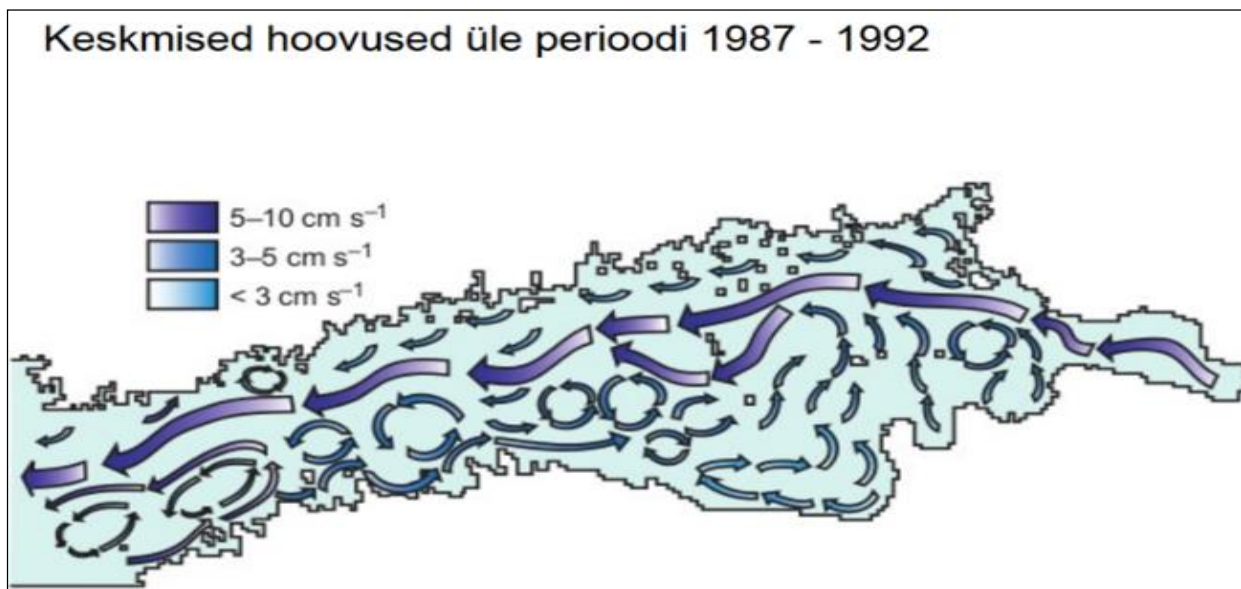
Joonis 9. Kunda lahe põhjasetted (Kaarel Orviku käsikirjaline materjal). 1. kivine merepõhi (moreen), 2 – kruus ja veeris, 3 – kesmine liiv, 4 – peenliiv, 5 – jäme aleuriit, 6 – savi, 7 – setteproovi asukoht, 8 – profiili asukoht.

Kaardilt võime näha, et sadamalainduse alla peaksid jääma valdavalt peenliivad, aleuriit ja keskmine liiv. Ilmselt sügavamates kihtides ka sinisavi (suuremal süvendusel). Üldiselt varieerub süvedatava ala põhjasetete mediaanväärtus 0.1 ja 0.25 mm vahel, üksikutes kohtades võivad setted olla veidi jämedamad. Väga peene fraktsiooni (all 0.05 mm diameetri – peamine heljumi tekitaja) sisaldus on laienduse alal üldiselt väga väike, jäädes enamasti alla 0.1% ja ulatudes üksikutes proovides 0.7%-ni. Veidi jämedama fraktsiooni (0.05-0.1 mm) sisaldus on siin oluliselt suurem, jäädes enamasti vahemikku 10-40%, üksikutes proovides ulatus selle fraktsiooni sisaldus ka 50% lähistele aga seesuguste osakeste lagemise kiirus on juba oluliselt suurem ning liikumine hoovustega väike.

Tulemused - Heljumi levik ja vee liikumine

Vee liikumisest Kunda lahes

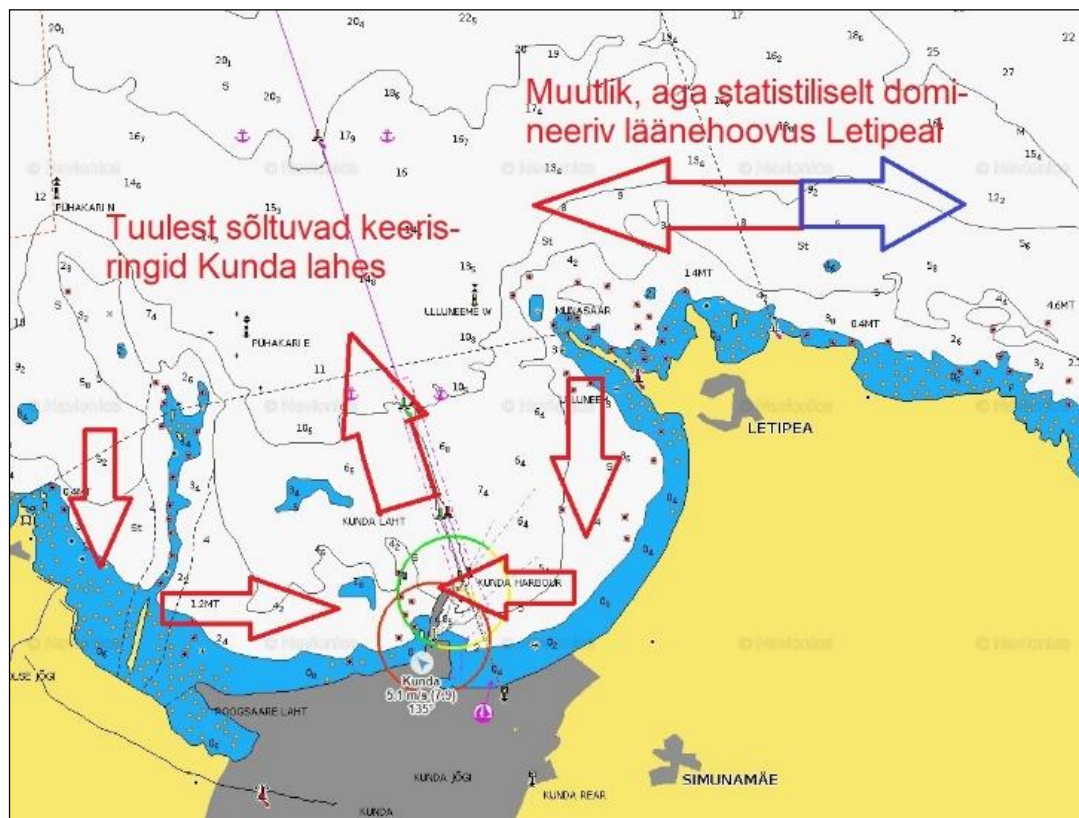
Kunda lahes täheldatav hoovus on ilmselt osa ühest Soome lahes asuvast keerisringist (Joonis 10). Hoovuseid Kunda lahes sees ei ole instrumentaalselt mõõdetud, kuid eeldatavalt on nad muutlikumad ja nõrgemad kui Letipeal registreeritud jugahoovus. Lahtede puhul (nt. Pärnu laht) on teada hüdrodünaamiline eripära (nt. Suursaar ja Kullas, 2006), kus merelt lahe pära suunas puhuv tuul kutsub esile tsirkulatsiooniskeemi, kus vesi voolab lahte mõlema ranna äärt pidi ning kompensatoorne väljavool esineb lahe telgmises osas (joonis 11). Maalt merele puhuva tuule korral voolab vesi välja piki mõlemat rannaäärt ja vesi voolab lahte sisse telgmises osas. Kuna meretuul on statistiliselt sagedasem ja tugevam, ehk Kunda lahe puhul, lääne ja loodetuuled on sagedasemad ja tugevamad kui maa poolt varjatud lõuna- ja idatuuled, siis ühelt poolt peaks vesi (hoovus) kanduma rohkem Kunda lahe idapoolle, keeriselistest skeemidest peaks aga statistiliselt domineerima skeem, mida näitab joonis 11. Kuid see skeem on tuulest sõltuvalt ajas väga muutlik ning vee liikumiste maksimumkiirused jäävad lahes alla 50 cm/s (keskmiselt vaid umbes 10 cm/s).



Joonis 10. Hoovuste statistiline (modelleeritud) horisontaalne jaotus Soome lahes ning vastav üldistatud skeem (Andrejev jt., 2004; Soomere jt., 2008). Letipeal on eelistatud läänesuunaline voolamine.

Esmajoones mõjutavad rannaprotsesse lainetus ja lainetusemurdumisel tekkiv murdlusvool, mida mõnikord ka hoovuseks kutsutakse (Orviku, 2018). Tegelikud hoovused on suure koguse vee horisontaalne ja enam-vähem püsiva suuna ja kiirusega liikumine, mis on põhjustatud püsiva

suunaga tuultest, soolsuse- või temperatuurierinevustest. Kaarel Orviku (2018) sõnul on püsihoovustel rannasetete dünaamikas väga tagasihoidlik osa, kuna randa moodustavad setted on suhteliselt jämeda lõimise ja suure erikaaluga ning tuulehoovused ei suuda väikese kiiruse tõttu neid paigastki nihutada, rääkimata nende edasikandmisest. Läänemeres on lainetusel ja sellest tekitatud murdlusvoolul palju olulisem roll setete transpordile, sest tekkivad vee liikumiskiirused on oluliselt suuremad.



Joonis 11. Lihtsustatud domineeriv tsirkulatsiooniskeem Kunda lahes ja Letipeal.

Laboratoorsete katsete ja hoovuste mõõdistuste tulemusel on tehtud üldistused, mis kajastavad hoovuste kiiruse mõju rannasetetele. Näiteks kesk- ja peeneteralise rannaliiva (0,1–0,5 mm) massiliseks liigutamiseks ja mööda merepõhja veeretamiseks peab põhjalähedase hoovuse kiirus olema vähemalt 15 cm/s, jämeda liiva (0,5–1,0 mm) korral aga ligikaudu 30 cm/s (Orviku, 2018). Tuulest põhjustatud hoovuste puhul on suurimad vee liikumiskiirused pindmises kihis. Mida sügavamale veesambas minna, seda vähemaks jääb liikumiskiirus. Orviku (2018) hindab, et tuulehoovusest tingitud liikumine haarab endaga kaasa vaid 10–15 cm pinnakihi. Sügavamal on hoovuse mõju nõrk. Seega on enamjaolt liikumiskiirused liiga madalad.

Heljumi levikust Kunda lahes

Heljumit põhjustab Kunda sadama kaide laiendamine ja veete süvendamine. Tekkiva heljumi levik sõltub lainetuse ja hoovuste tingimustest, pinnase parameetritest (tihedus, settimiskiirus) ja töö tehnoloogiast (süvendamine kopaga või pumbaga jne). Koppekskavaatori puhul sõltub tekkiva heljumi hulk ka pinnase iseloomust. Kõige suurema heljumi leviku annab muda ja savi lendumine. Mudaosakeste settimiskiirus on hinnanguliselt 0,25 mm/s, saviosakestel on aga 0,01 mm/s (täpsustada projekti hilisemates staadiumites). Samas on saviosakesed rohkem koos ning kaevamisel kaob neid kopast veesambasse vähem kui sama koguse muda puhul. Hinnanguliselt ca 50% mudast ja ca 10% savist läheb heljumiks.

Süvendustööde Assotsiatsiooni (CEDA) väitel on aastatel 1995-2010 süvendustööde seirete käigus kogutud teadmiste üheks olulisimaks järelduseks: “Süvendustööde põhjustatud hägusust tuleks hinnata kui erinevust foonist, mitte absoluutsete väärtustena. Keskkonnaalased piirangud peaksid põhinema kohaliku ökosüsteemi vastupanuvõimel, arvestades looduslikku hägususe taset“ (CEDA, 2011). Keskkonnamõju hindamiseks on seega oluline seada mudelisse kontsentratsiooni piir, millest madalamate puhul ei erine need looduslikust foonist. Laura Raag uuris oma magistritöös (2014) süvendustööde mõju heljumi kontsentratsiooni ruumilisele jaotusele. Ta leidis, et olemasoleva heljumi looduslikus kontsentratsioonis võib tuvastada Eesti rannikul suuri hooajalisi muutuseid (Raag, 2014) ning koostas selle kohta kaardid. Heljumi kontsentratsiooni looduslikuks piiriks võib valida konservatiivselt 3 g/m³. Kui töid teostada konkreetsetel aegadel, kus looduslik heljum on suurem kontsentratsiooniga, võib piiri suurendada. Seda tuleks vaadata projekti järgmistes staadiumites.

Sadama kaide ehitamisel kasutatakse ilmselt sõmerat mineraalset täidet, mille tera jämedus on oluliselt suurem savi ja muda omast. Seetõttu ei levi ilmselt heljum väga kaugele: hinnanguliselt kuni 300 m kaugusele. Selle täpsustamiseks, arvestades sügavusi ja vee liikumist, tuleb projekti järgnevates osades modelleerida vee liikumist ja heljumi levikut.

Projekti praeguses etapis võib arvestada analoogsete tööde tulemustega. Virtsu sadamas kopaga süvendamise modelleerimisel ulatus savist põhjustatud heljumi kontsentratsiooni piir allikast kuni 1200 meetrini (Männikus, 2025). Muda süvendamisel oli sama näitaja 700 meetrit. Mõlema puhul väljub heljum sadama akvatooriumi piiridest. Kopaga süvendamisel on kõige mõistlikum süvendada siis, kui tuuled puhuvad maismaa poolt. Siis on lained madalad, vee liikumine aeglane

ning heljum ei liigu merel laiali. Merelt puhuvate tuulte korral peaks töötama võimalikult madalate tuule kiiruste korral. Tehnoloogiliselt on ilmselt nii või teisiti mõistlik peatada tööd merel, kui tuule keskmine (10 minuti keskmine) kiirus ületab merel 15 m/s, seda loetakse eesti klimatoloogias ka tormituule alumiseks piiriks (Orviku jt. 2003). Heljumi leviku piiramise seisukohalt oleks kõige otstarbekam süvendada pumpsüvendajaga, sest sel juhul on tekkiv heljum ja selle levik oluliselt rohkem piiratud.

Liivi lahes kaadamisel modelleeriti kahe erineva mahuga pargase (500 ja 3000 m³) ning savika ja mudase heljumi liikumist (Männikus, 2025). Mõlemal juhul levis heljum välja kaadamisala piiridest. Väiksema pargase korral ei jõua heljum Natura alale, kui lõunatuulte kiirus jäi alla 6 m/s. Suurema pargase puhul tuli kaadata kas täiesti tuulevaikse ilma korral või siis, kui puhuvad põhjatuuled. Peaks eelistama madalate kiirustega (alla 6 m/s) põhjatuuli. Kaadamisest põhjustatud heljumi kontsentratsioon vähenes alla 3 g/m³ ca 16 tundi pärast kaadamise lõppu. Heljumi pilv võis suurema pargase korral levida ca 5 km kaugusele.

Heljumi leviku täpsustamiseks Kunda lahes, arvestades sügavusi ja vee liikumist, tuleb projekti järgnevatel osadel modelleerida vee liikumist ja heljumi levikut. Tänapäevases olukorras saame aga öelda, et peene sette kontsentratsiooni planeeritava sadama laienduse piirkonnas on suhteliselt madal, jäädes enamasti alla 0.1 % ja ulatudes üksikutes proovides 0.7%-ni. Paraku puudub teadmine kui tüüpe on merepõhjas kobedate setete kiht ja kui sügaval jõutakse sinisavi piirini.

Süvendamise mõju vähendamiseks võiks kobedad setted (erineva jämedusega, liiv, aleuriit) pumbata rannale ja kasutada seda näiteks osaliselt nn sadama akvatooriumi taguse ala täitmiseks või tõstmiseks. Esmahinnangu ja sarnase kogemuse alusel ei ole näha, et heljum võiks olulisel määral mõjutada ümbritsevaid olulisi ökosüsteeme, eriti kui arvesse võtta soovitusi süvendamise meetoodika ja tuulte kiiruste ning suundade osas.

Põhjasetete võimalik reostus ning proovivõtmise vajadus

2023. aastal viidi KIK projekti raames Pärnu sadama suudme piirkonnas läbi põhjalik setete analüüs. Uuriti nii terajämedust, orgaanika sisaldust kui ka saasteaineid. Pärnu sadama territooriumile kuhjunud liivakehast võetud proovide analüüsimisel selgus, et suurem osa saasteaineid jäi alla määramispiiri ja kõikide proovide saasteinete väärtused jäid alla lubatud sihtarvude (Tõnisson *et al.*, 2024b). Analoogsed analüüsid viidi 2010. aastal läbi Nasva sadamamuuli taguse liivamaardla liiva kvaliteedi uuringute käigus, ka siin selgus, et kõikides proovides jäid saasteinete sisaldused kas alla määramispiiri või lubatud sihtarvu (Rannik, 2010). See on tüüpiline olukord kus rannaseteid peseb pidevalt läbi lainetus ja uhub ka jõevesi, mistõttu saasteained rannaliivades ei akumulera, isegi sellise intensiivse kasutusega sadamas nagu seda on Pärnu sadam.

1992. aastal viidi Kunda lahe rannikul läbi sadama ehituseelne rannaprotsesside seire, kus kordusmõõdistati mitmeid risti-rannaprofiile. Dr Kaarel Orviku käsikirjalistest materjalidest (Orviku, 1993) selgub, et sama aasta erinevatel aegadel mõõdistatud profiilidel tuvastati peale suhteliselt vaikset suvist perioodi umbes 20 cm tuseduse liivakihi pidev muutlikkus, ehk siis liivade pidev liikumine. Tugevamate tormide korral hinnati liikuvate ja pidevalt lainetuse poolt läbipestavate liivade tuseduseks kuni 1 meeter. Niisugune dünaamika lubab oletada, et vähemalt rannalähedases merepõhjas ei saa saasteained akumulera ja võimalike reostusproovide tulemused oleksid analoogsed Pärnus ja Nasval saadud tulemustele (jäävad kas alla määramispiiri või lubatud sihtarvust oluliselt allapoole).

Lähtudes eelnevast, ei näe vajadust reostuse kontsentratsioonide määramist sadamamuulist läänes. Sadamamuulist idas ei ole samuti vajadus reostusproove võtta sügavuseni kus lainetus on veel võimeline merepõhja mõjutama. Küll võiks aga võtta ühe proovi alalt kus liivad on kuhjunud sadama akvatooriumisse ning segunenud mudaga (orgaanikaga) süvendatud alal (proov tuleks võtta umbes 0.5-1 m sügavuselt settest) ja üks võrdlev proov süvendatud ala piirist umbes 50-100 m idasuunas (nö referents proov), alalt kus süvedamist pole toimunud ja tänane meresügavus on vähemalt 3 m (pindmine nn kopaproov). Proovis tuleks määrata naftaproduktide võimalik sisaldus ning raskmetallid. Eeldatavasti jäävad referentsproovi väärtused samuti alla sihtarvu, ent on võimalik, et sadama süvedatud akvatooriumisse lõksu jäänud setetes võib saasteinete sisaldus olla

veidi kõrgem, kuid ka seal peaks toimuma hea veevahetus ning on võimalik, et ka seal koncentristioonid ei ületa lubatud sihtarve. Nende proovide analüüside tulemuste põhjal saab otustada, kas on mõtet täiendavaid proove võtta (kui referentsproov vastab normidele, siis ei ole mõtet võtta proove väljapoolt sadamaakvatooriumi süvendatud ala).

Kokkuvõtteks

Tänane Kunda sadam paikneb Kunda lahe päras – alal, mis on setete lõplikuks kuhjepiirkonnaks. Põhiliseks setete liikumise suunaks on siin aeglane erosioon Kunda lahe külgedelt ning liikumine piki randa lahe pärasse. Lisaks rannas liikuvale settele on oluliseks setete lisaallikaks ka Kunda jõest saabuvad setted, mis toetavad eelkõige sadamast läände jäävate randade stabiilset kuhjet.

Viimane Kunda sadama suurem laiendus tehti umbes 30 aastat tagasi. Andmete järelanalüüs näitab, et sadama rajamine ei ole mõjunud halvasti randade stabiilsusele ega ole põhjustanud Kunda jõesuudme ummistumist. Lahe pära randades on jätkunud aeglane kuhje protsess, rannal olevate eelluidete ala on enamasti laienenud ja eel-luided kõrgenenud, suurendades seeläbi piirkonna randade vastupanu tugevatele tormidele ja oodatavale maailmaere taseme tõusule. Ka rannajoon on pea kõikjal pisut meresuunas nihkunud. Vaatamata kartusele, et Kunda jõesuue võib sadama tõttu ummistuda ei ole see kartus kinnitust leidnud – sõltuvalt tormide suunast on jõesuudme asukoht pendeldanud umbes 100 m ulatuses idast-läände, ilmselt võiks suue pikemas perspektiivis olla tulevikuks sagedamini pöördunud just loode suunas (nagu tänane olukord).

Võime märkida, et sadama planeeritav laiendus ei muuda sealseid rannaprotsesse olulisel määral. Sadama läänepoolne ja idapoolne rand on juba täna iseseisev randlasüsteem. Idapoolse sadamamuuli rajamine tuleks sealsetele randadele pigem kasuks, sest täna oleme olukorras kus osa rannaseteid jõuab juba sadama akvatooriumisse ja sadama süvendmaisel on oht, et viime need setted süsteemist välja. Idapoolse muuli rajamisega välditakse rannaliivade sattumine sadamakanalisse ja ühtlasi välditakse ka nende sealsest randlasüsteemist väljaviimist. Liivade kuhjeala lühendamise aitab kaasa sealse ranna stabiilsusele ka kerkiva maailmamere taseme olukorras.

Sadamast umbes 3 km kaugusel paikneva Liivasääre näol on tegemist omaette kulutus-kuhjelise süsteemiga, mis on liialt kaugel, et sellele saaks nii olemasolev kui planeeritav sadama laiendus kuidagi mõju avaldada. Siinsed muutused on põhjustatud globaalse kliima soojenemisega tingitud faktoritest (jääkate vähenemine, sagedasemad tormid, meretaseme tõus).

Heljumi leviku minimeerimiseks tuleks vältida tuulist ilma (tuul alla 10m/s), eelistada pump-süvendajat ning võimalusel kasutada kobedaid setteid ranna täitena. Võrdlemisi vähene peenete osakeste sisaldus sadama laiendusosalal lubab oletada heljumi leviku vähest ulatust ja mõju.

Lähtudes kogemustest mõneti sarnastel uuringualadel (Nasva sadamamuuli küljel paiknev liivakarjäär, Pärnu sadamasse kuhjuvad rannasetted) näeme, et sadamate lähistel, intensiivselt liikuvates rannasetetes ei ole probleeme saasteainete (naftaproduktid, raskmetallid) kõrgete kontsentratsioonidega. 1992. aastal Kunda sadamapiirkonnas läbiviidud rannaprotsesside seiretööde käigus selgus, et isegi vaikselt suveperioodil pesti vähemalt ülemine 20 cm tüsedune liivakiht lainetuse poolt läbi. Tugevamate tormide korral toimub liivade liikumine ilmselt umbes 1 m tüseduse kihina. Seetõttu leiti, et ei ole mõttekas võtta saasteainete proove ulatuslikult alalt ning esialgu võiks piirduda kahe prooviga, millest üks oleks võetud sadama akvatooriumi süvendatud alale kuhjunud liivadest mis on osaliselt segunenud mudaga (orgaanikaga) ja teine sellest alast 50-100 m kaugusel idast, nõ referentsproovina. Nende põhjal saab otsustada, kas on mõtet lisaproove võtta.

Kirjanduse loetelu

Andrejev, O., Myrberg, K., Alenius, P., Lundberg, P.A. 2004. Mean circulation and water exchange in the Gulf of Finland – a study based on three-dimensional modelling, *Boreal Environ Res.*, 9 (1), 1–16.

CEDA. 2011. Information Paper- June 2011. Environmental control on dredging projects. URL. (Kasutatud märts 2014) http://www.dredging.org/documents/ceda/html_page/2011-ceda_information_paper_environmental_control_ondredging_projects.pdf.

Männikus, R. 2025. Virtsu sadama KMH hüdrodünaamiline modelleerimine.

Orviku, Kaarel, 1993. Kunda rekonstrueeritava tsemenditehase mõjupiirkonna kaitseline ekspertiis (praegune seis ja muutuste prognoos) – Ekspertthinnang: Sadamarajatised ja nende mõju sedimentatsioonile ning rannageoloogilistele protsessidele.

Orviku, Kaarel., Jaagus, J., Kont, A., Ratas, U., Rivis, R. 2003. Increasing activity of coastal processes associated with climate change in Estonia. *Journal of Coastal Research*, 19 (2), 364–375.

Orviku, Kaarel (2018). Rannad ja rannikud. Õpik kõrgkoolidele. Tallinn: TLÜ Kirjastus.

Orviku, K., Tõnisson, H., Kont, A. (2020). Successful Management Practice Based on Studies of Shore Processes in Port Kunda. *Journal of Coastal Research*, 95 (sp1), 910–914. DOI: 10.2112/SI95-177.1.

Raag, L. 2014. Süvendustööde mõju heljumi kontsentratsiooni ruumilisele jaotusele, hinnatuna kaugseire andmetest. Magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool.

Rannik, E., 2010. Saare Maakonna, Kaarma valla Nasva II uuringuruumi geoloogilise uuringu aruanne. OÜ Inseneribüroo Steiger, Töö nr 10/0529.

Soomere, T., Myrberg, K., Leppäranta, M., Nekrasov, A. 2008. The progress in knowledge of physical oceanography of the Gulf of Finland: a review for 1997–2007. *Oceanologia*, 50 (3), 287–362.

Suursaar, Ü., Kullas, T. 2006. Influence of wind climate changes on the mean sea level and current regime in the coastal waters of west Estonia, Baltic Sea. *Oceanologia*, 48 (3), 361–383.

Suursaar, Ü.; Luik, K.; Mäll, M.; Jaagus, J.; Tõnisson, H. (2025). Long-term variations in sea ice extent can influence trends in maximum sea level in the northeastern Baltic Sea. *Continental Shelf Research*, 289, 105451. DOI: 10.1016/j.csr.2025.105451.

Tõnisson, H.; Aps, R.; Orviku, K.; Suursaar, Ü.; Sasi, S.; Kont, A. (2014). The impact of a port to the surrounding shores based on the 10 years monitoring results: Port of Sillamäe case study (Gulf of Finland, Baltic Sea). *IEEE Xplore: Baltic International Symposium (BALTIC), 2014 IEEE/OES. IEEE*, 1–6. DOI: 10.1109/BALTIC.2014.6887858.

Tõnisson, H.; Kont, A.; Suursaar, Ü.; Jaagus, J.; Ravis, R.; Buynevich, I. (2024a). Morphosedimentary evolution of Estonian coastline: role of climatic and hydrodynamic forcing over the past decades. *Boreal Environment Research*, 29 (1-6), 103–125.

Tõnisson, H.; Männikus, R.; Kont, A.; Palginõmm, V.; Alari, V.; Suuroja, S.; Vaasma, T.; Vilumaa, K. (2024b). Application of Shore Sediments Accumulated in Navigation Channel for Restoration of Sandy Beaches around Pärnu City, SW Estonia, Baltic Sea. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12 (3), #394. DOI: 10.3390/jmse12030394

Tõnisson, H.; Männikus, R.; Kont, A.; Palginõmm, V.; Alari, V.; Suuroja, S.; Vaasma, T.; Vilumaa, K. (2024). Application of Shore Sediments Accumulated in Navigation Channel for Restoration of Sandy Beaches around Pärnu City, SW Estonia, Baltic Sea. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12 (3), #394. DOI: 10.3390/jmse12030394.